

RANCANG BANGUN PURWARUPA LENGAN ROBOT BERBANTUAN RASPBERRY PI

Stephanie Graciela Ludony¹, Melisa Mulyadi², Kumala Indriati³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta

Email: ¹stephanie.ludony@yahoo.com, ²melisa.mulyadi@atmajaya.ac.id*,
³kumala.indriati@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Persaingan di bidang industri telah mendorong untuk dilakukannya proses otomasi dalam mengoperasikan peralatan mesin-mesin industri dan kontrol proses untuk menggantikan operator tenaga manusia. Teknologi robot merupakan bagian dari otomasi yang banyak diterapkan di industri, salah satunya adalah lengan robot. Pada proses produksi, lengan robot digunakan untuk memindahkan objek. Dibutuhkan perancangan yang benar agar lengan robot dapat bergerak sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pembuatan purwarupa lengan robot yang memiliki lima derajat kebebasan atau Degree of Freedom (DoF) dan dilengkapi dengan pencapit objek. Sebagai pengendali lengan robot digunakan mikrokomputer Raspberry Pi 3 Model B+ yang diprogram dengan perangkat lunak python. Pada lengan robot terdapat kamera untuk mendeteksi warna objek agar lengan robot dapat memindahkan dan menempatkan objek sesuai kelompok warnanya. Pengujian terhadap rancangan lengan robot menunjukkan bahwa kamera dapat mengenali warna objek dan lengan dapat memindahkan objek sesuai pada tempatnya.

Kata kunci: lengan robot, raspberry pi, warna, python

ABSTRACT

Competition in the industrial sector has pushed for automation processes in operating industrial machine tools and process control to replace human labor operators. Robot technology is a part of automation that is widely applied in industry, one of which is the robot arm. In the production process, robotic arms are used to move goods. Correct design is needed so that the robot arm can move according to the desired criteria. Therefore, in this study, the design and manufacture of a robot arm prototype that has five degrees of freedom (DoF) is carried out and is equipped with a clamp. As a controller for the robot arm, a Raspberry Pi 3 Model B + microcomputer is used, which is programmed with python software. On the robot arm, there is a camera to detect the color of the object so that the robot arm can move and place object according to the color group. Testing of the robot arm design shows that the camera can recognize the color of goods and the robot arm can move object according to their place.

Keywords: arm robot, raspberry pi, color, python.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robot memberi kemudahan dalam menyelesaikan pekerjaan di industri khususnya dalam proses produksi. Salah satu jenis robot yang paling banyak digunakan adalah robot manipulator atau lengan robot.

Lengan robot merupakan sistem mekanik yang dilengkapi dengan motor-motor servo yang dikendalikan untuk melakukan gerakan menyerupai arah pergerakan lengan manusia. Salah satu penggunaan lengan robot adalah untuk memindahkan objek. Lengan robot memerlukan perancangan dan pengendalian yang baik agar dapat melaksanakan proses pemindahan objek sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan purwarupa lengan robot yang memiliki lima derajat kebebasan dan dilengkapi dengan *gripper* /pencapit untuk memindahkan objek. Lima derajat kebebasan pada lengan robot terdiri dari 3 derajat kebebasan untuk translasi dan 2 derajat kebebasan untuk rotasi. Lengan robot memiliki kamera sebagai indra penglihatan yang terintegrasi dengan sistem agar robot dapat mendeteksi adanya objek dan warna objek.

TEORI DASAR

A. Lengan Robot

Lengan merupakan bagian robot manipulator yang tidak bergerak, sedangkan sendi merupakan bagian yang menggerakkan lengan. Banyaknya jumlah lengan dan sendi akan menghasilkan suatu ruang kerja robot. Setiap robot manipulator memiliki jumlah arah kebebasan bergerak robot yang disebut derajat kebebasan atau *degree of freedom*

(DoF) [4]. Semakin besar jumlah DoF maka akan semakin fleksibel robot bergerak. Setiap DoF membutuhkan sebuah sendi untuk bergerak. Sendi digerakkan oleh motor servo sesuai program yang diberikan.

B. Raspberry Pi

Raspberry pi atau disingkat raspi merupakan *single-board computer* dengan *operating system* (OS) Linux. Raspi memiliki beberapa seri namun pada penelitian ini digunakan raspi 3 model B+ yang merupakan versi terakhir dari generasi ke-3 raspi.

C. Kamera Raspberry

Kamera dalam penelitian ini berfungsi untuk mendeteksi warna objek. Kamera yang digunakan berupa modul kamera raspberry versi 1 yang memiliki sensor OmniVision OV5647 5 megapixel. Modul kamera ini memiliki mode video 1080p30, dan 720p60, serta dihubungkan ke slot CSI pada papan Raspi.

D. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC dengan serangkaian gir, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Gir yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor servo. Penelitian ini menggunakan 2 jenis motor servo, yaitu tipe 5521MG dengan kecepatan putar sekitar 62 rpm,

torsi 1,8 Nm dan MG946R dengan kecepatan putar sekitar 58 rpm serta torsi 1,1 Nm. Kedua jenis motor tersebut dapat bergerak dengan total sudut putar sekitar 180 derajat.

E. Driver Motor Servo

Driver motor servo tipe servo shield PCA 9685 digunakan untuk mengendalikan sejumlah motor servo secara paralel. *Driver* motor ini memiliki enam belas kanal *pulse width modulation* (PWM) yang dapat mengendalikan enam belas buah motor servo sekaligus [2].

F. Sistem Operasi Raspberry

Raspi membutuhkan sistem operasi yang harus dimasukkan ke SD card untuk mengoperasikannya. Terdapat banyak OS yang bisa digunakan, salah satunya adalah OS Raspbian dengan bahasa pemrograman Python.

G. Perangkat Lunak Python

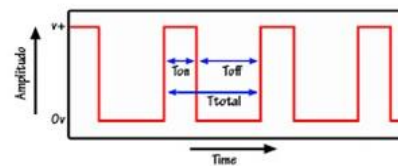
Python adalah bahasa pemrograman interpretatif dan mudah dipahami oleh pengguna. Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk menjalankan python seperti menggunakan mode *shell* (mode interaktif), terminal atau menggunakan *integrated development environment* (IDE). IDE merupakan aplikasi perangkat lunak yang terdiri dari *source code editor build automation tools* dan *debugger* [3]. Dalam penelitian ini digunakan Thonny Python sebagai IDE.

H. Pulse Width Modulation

Pulse width modulation (PWM) merupakan suatu metode untuk memanipulasi lebar pulsa dalam suatu

periode dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tidak berubah. Durasi saat sinyal berada diposisi tinggi disebut waktu hidup (T_{on}) sedangkan durasi saat posisi rendah disebut waktu mati (T_{off}) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Lamanya pulsa positif dalam satu periode menentukan siklus kerja (*duty cycle*).



Gambar 1. Grafik siklus kerja PWM.

I. Visi Komputer

Visi komputer (*computer vision*) merupakan metode untuk memproses dan menganalisis citra. Pengolahan citra diperlukan untuk memperbaiki kualitas citra objek yang ditangkap oleh kamera. Pemrograman untuk pengolahan citra menggunakan *Open computer vision* (OpenCV) yang dapat bekerja untuk aplikasi *real-time*, dan memiliki fungsi akuisisi yang baik untuk gambar dan video [5]. OpenCV juga menyediakan *interface* ke *Integrated Performance Primitives Intel* (IPP Intel) sehingga dapat menggunakan prosesor Intel untuk mengoptimasi aplikasi *computer vision*. OpenCV terdiri dari 3 *library*, yaitu:

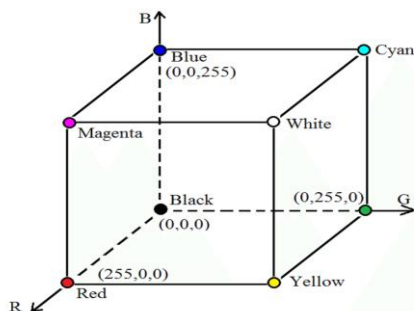
- I.1. CV, yang berfungsi untuk algoritma *Image Processing* dan *Vision*.
- I.2. Highgui yang berfungsi untuk *Graphical User Interface* (GUI), serta gambar dan video input/output.
- I.3. CXCORE yang berfungsi untuk struktur data, *support XML* dan fungsi-fungsi grafis.

Pengolahan warna dari citra dilakukan dengan *color filtering*. *Color filtering* dapat dilakukan pada beberapa jenis ruang warna seperti ruang warna *red, green, blue* (RGB) dan ruang warna *hue, saturation, value* (HSV).

J. Citra Warna

Citra terdiri dari citra diam dan citra bergerak atau video. Citra diam merupakan citra yang tidak bergerak, sedangkan citra bergerak merupakan rangkaian citra diam yang ditampilkan secara beruntun (sekuensial) sehingga memberi kesan seperti gambar yang bergerak. Setiap citra dalam rangkaian itu disebut *frame*. Dalam penelitian ini citra yang dihasilkan kamera berupa citra bergerak yang ditangkap secara *real time*.

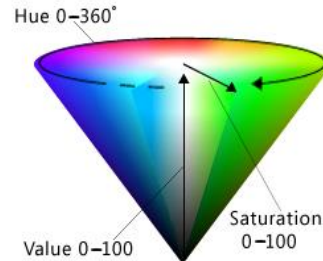
Citra warna diolah menggunakan 2 jenis ruang warna, yaitu RGB dan HSV [1]. Pada ruang warna RGB, warna ditentukan berdasarkan 3 nilai dari *red, green* dan *blue* seperti pada Gambar 2, dengan jumlah setiap nilai berkisar antara 0-255. Saat nilai dari setiap RGB bernilai 0 maka akan dihasilkan warna hitam, sedangkan sebaliknya saat semua bernilai 255 akan dihasilkan warna putih.



Gambar 2. Ruang warna RGB.

Pada ruang warna HSV, warna ditentukan berdasarkan nilai *hue, saturation* dan *value* seperti pada Gambar 3. *Hue* menyatakan warna

sebenarnya seperti merah, hijau, biru, dengan jangkauan 0° sampai dengan 360° . *Saturation* menyatakan kemurnian/kekuatan warna dengan jangkauan 0-100, sedangkan *value* menyatakan kecerahan dari warna dengan jangkauan 0-100%.



Gambar 3. Ruang warna HSV.

Citra objek yang dideteksi kamera diolah dengan melakukan konversi warna dari ruang warna RGB ke ruang warna HSV. Konversi dari ruang warna RGB ke HSV dilakukan dengan mengubah jangkauan warna pada RGB menjadi $[0,1]$ dengan menggunakan Persamaan (1) - (6).

$$r' = \frac{r}{(R+G+B)} \quad (1)$$

$$g' = \frac{g}{(R+G+B)} \quad (2)$$

$$b' = \frac{b}{(R+G+B)} \quad (3)$$

$$C_{\max} = \max(r', g', b') \quad (4)$$

$$C_{\min} = \min(r', g', b') \quad (5)$$

$$\Delta = C_{\max} - C_{\min} \quad (6)$$

Selanjutnya perhitungan hue, saturatuon dan value menggunakan Persamaan (7) - (9).

$$h = \begin{cases} 0^\circ & ; \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{g' - b'}{\Delta} \text{ mod } 6 \right); C_{\max} = r' \\ 60^\circ \times \left(\frac{b' - r'}{\Delta} + 2 \right); C_{\max} = g' \\ 60^\circ \times \left(\frac{r' - g'}{\Delta} + 4 \right); C_{\max} = b' \end{cases} \quad (7)$$

$$s = \begin{cases} \frac{\Delta}{C_{\max}}; & C_{\max} \neq 0 \\ 0; & C_{\max} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$v = C_{\max} \quad (9)$$

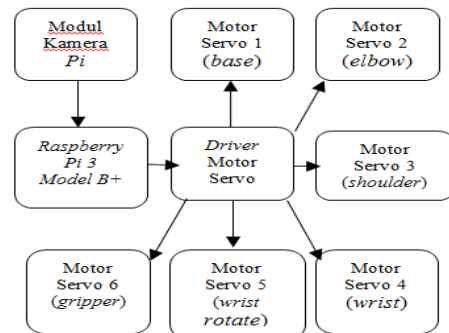
PERANCANGAN SISTEM

A. Konsep Kerja Sistem

Pada perancangan purwarupa lengan robot ini, warna objek dideteksi menggunakan kamera yang terhubung ke raspi sebagai pengendali. Pada saat program dijalankan robot akan bergerak ke posisi parkir untuk siap mengambil objek dan kamera aktif untuk mendeteksi objek. Raspi dapat dihubungkan ke laptop dengan *virtual network computing* (VNC) sehingga robot dapat dikontrol dari jarak jauh melalui jaringan. Objek yang akan dipindah, diletakkan satu persatu di meja uji dan berjarak 8 cm di depan kamera sehingga kamera dapat mendeteksi warna objek merah, biru atau hijau. Bila ada objek di meja uji maka lengan akan bergerak turun untuk mengambil objek tersebut dan memindahkan ketempat sesuai kelompok warnanya. Lengan robot kemudian kembali pada posisi parkir dan siap untuk mendeteksi objek selanjutnya. Jika objek yang dideteksi bukan warna merah, biru atau hijau maka robot akan memindahkan objek tersebut ke bagian *reject*.

B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras lengan robot dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti pada Gambar 4.



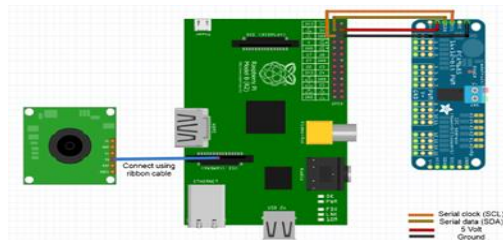
Gambar 4. Diagram blok sistem.

B.1 Rangkaian mikrokontroler raspberry pi

Rangkaian mikrokontroler raspberry pi atau raspi berfungsi untuk mengolah data dari masukan kamera, dan mengendalikan modul *driver motor servo*. Rangkaian raspi ini mendapatkan *supply* langsung dari adaptor ke *port* mikro-USB. Kamera dihubungkan ke kontroler melalui *port* CSI sedangkan modul *driver motor servo* dihubungkan dengan pin *inter-integrated circuit* (I2C) pada Raspi yaitu *pin serial data* (SDA), *serial clock* (SCL), *ground* (GND), dan *VCC* seperti pada Tabel 1. Skematik mikrokontroler raspi 3 model B+ dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Konfigurasi modul raspi

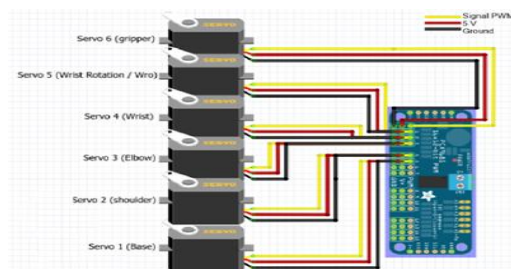
Raspi 3 Model B+	Alat yang Terhubung
Pin 5 V/Pin ke 4	Pin VCC, PCA 9685
Pin GND/Pin ke 6	Pin GND, PCA 9685
Pin SDA/Pin ke 3	Pin SDA, PCA 9685
Pin SCL/Pin ke 5	Pin SCL, PCA 9685
<i>Port</i> CSI	<i>Port</i> CSI, Kamera
<i>Port</i> mikro USB	Adaptor 5 Volt



Gambar 5 Skematik mikrokontroler raspi.

B.2 Rangkaian driver motor servo

Arus yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah motor servo berkisar antara 200 mA hingga 900 mA akan tetapi, arus maksimum yang dikeluarkan setiap GPIO Raspi 3 model B+ adalah 16 mA. Oleh karena itu digunakan driver motor tipe PCA 9685 untuk menggerakkan motor servo. Driver motor mengendalikan 6 buah motor servo yang masing-masing berfungsi sebagai *base*, *shoulder*, *elbow*, *wrist*, *wrist rotation*, dan *gripper*. Setiap servo memiliki 3 pin yang dihubungkan dengan driver motor yaitu pin VCC yang berwarna merah, pin ground yang berwarna hitam dan pin sinyal yang berwarna kuning dengan skematik yang dapat dilihat pada Gambar 6. Penjelasan letak koneksi pin dapat dilihat pada Tabel 2



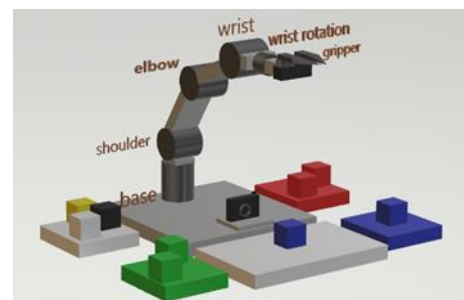
Gambar 6. Skematik driver motor servo.

Tabel 2. Konfigurasi rangkaian driver motor servo

Nama Motor Servo	Driver Motor Servo
<i>Gripper</i>	Pin 0
<i>Wrist Rotation</i>	Pin 1
<i>Wrist</i>	Pin 2
<i>Elbow</i>	Pin 3
<i>Shoulder</i>	Pin 4
<i>Base</i>	Pin 5

B.3 Rangkaian motor servo

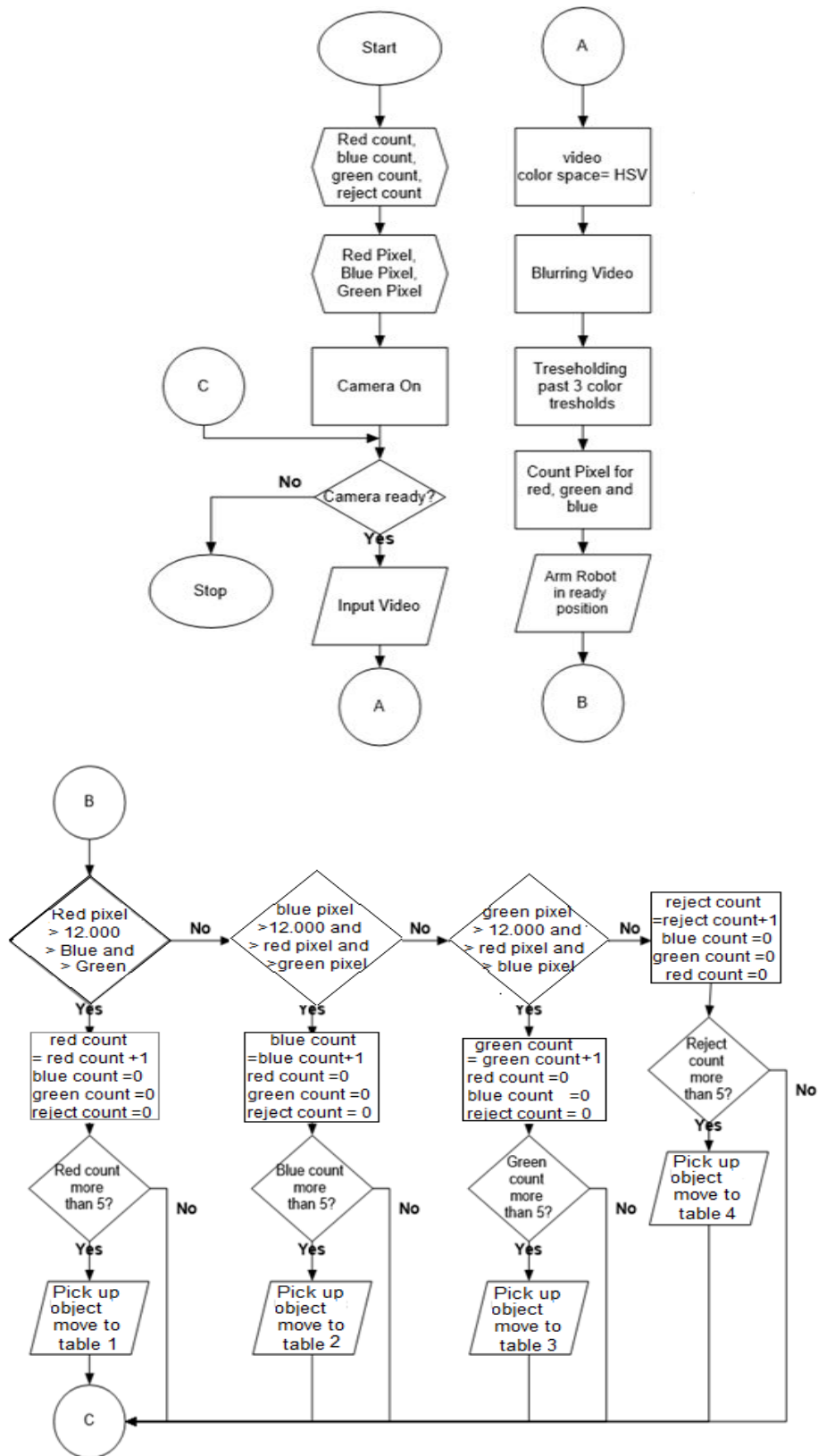
Pergerakan sendi lengan robot menggunakan lima buah motor servo dan sebuah motor servo untuk menggerakkan pencapit seperti yang ditunjukkan Gambar 7. Perancangan ini menggunakan 4 buah motor servo MG946R yang diaplikasikan pada *base*, *wrist*, *wrist rotation* dan pencapit serta, 2 buah motor servo 5521MG yang diaplikasikan pada *elbow* dan *shoulder*. Penjelasan konfigurasi jenis motor servo dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 7. Ilustrasi letak motor servo.

Tabel 3. Konfigurasi jenis motor servo.

Nama Motor Servo	Jenis Motor Servo
<i>Gripper</i>	MG946R
<i>Wrist Rotation</i>	MG946R
<i>Wrist</i>	MG946R
<i>Elbow</i>	5521MG
<i>Shoulder</i>	5521MG
<i>Base</i>	MG946R



Gambar 8. Diagram alir program lengan robot.

Kedua tipe motor servo yang digunakan memiliki lebar sudut putar sebesar 180° . Pada pemrograman, sudut 0° dikonversi menjadi nilai 150 dan sudut 180° menjadi nilai 600 sehingga didapatkan nilai konstanta motor servo terhadap nilai sudut seperti Persamaan (10) - (12).

$$n = \left(\frac{n_{\max} - n_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} \right) \times \theta + n_{\min} \quad (10)$$

$$n = \left(\frac{600 - 150}{180 - 0} \right) \times \theta + 150 \quad (11)$$

$$n = \left(\frac{450}{180} \times \theta \right) + 150 \quad (12)$$

C. Perancangan Perangkat Lunak

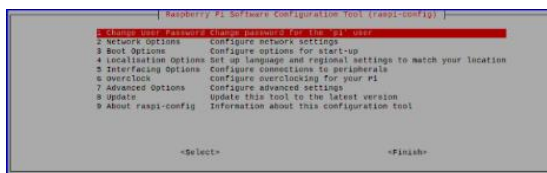
Perancangan perangkat lunak penelitian lengan robot dinyatakan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 8.

D. Pengujian Sistem

Bagian ini menjelaskan hasil pengujian dari setiap modul yang dirancang untuk purwarupa lengan robot.

D.1 Pengujian kamera raspberry

Pengujian kamera Raspberry dilakukan dengan menghubungkan kamera pada *port* CSI Raspi kemudian dikonfigurasi. Jendela konfigurasi Raspi ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Jendela konfigurasi raspi

Kamera kemudian diuji untuk mengambil gambar citra objek yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kamera sudah terkoneksi dengan Raspberry dan dapat mendeteksi warna objek.

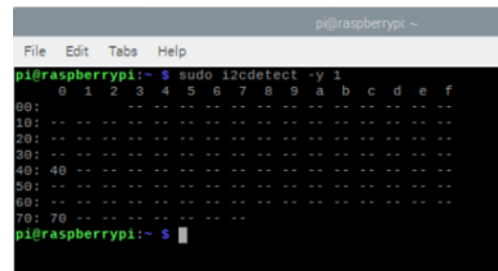


Gambar 10. Hasil pengambilan gambar camera.jpg

D.2 Pengujian driver motor servo

Pengujian *driver* motor servo dilakukan dengan menghubungkan pin SDA, pin SCL, pin VCC, dan pin GND pada *driver* motor servo dengan *pinout* Raspi.

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan Gambar 11 diketahui bahwa *driver* motor servo PCA 9685 telah terhubung ke Raspi dengan alamat I2C, 0x40.

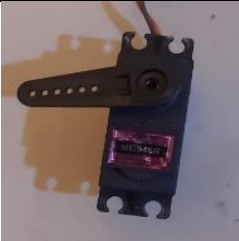




Gambar 11. Koneksi I2C yang digunakan

D.3 Pengujian motor servo

Pengujian motor servo dilakukan dengan menghubungkan motor servo ke *driver* motor servo yang sudah terhubung dengan Raspberry menggunakan bahasa pemrograman python. Arah pergerakan motor servo

Tabel 5. Hasil pengujian arah gerak motor servo

Besar Sudut	Hasil Pengujian	Keterangan
0 derajat		Sumbu motor servo bergerak ke kiri
90 derajat		Sumbu motor servo bergerak ke tangan
180 derajat		Sumbu motor servo bergerak ke kanan

diuji dengan memasukkan nilai 150, 375 dan 600 yang identik dengan sudut 0°, 90° dan 180°. Hasil pengujian motor servo dapat dilihat pada Tabel 5.

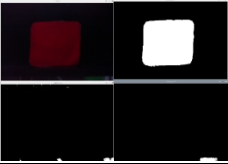
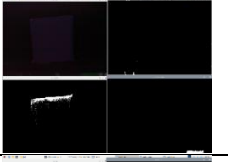


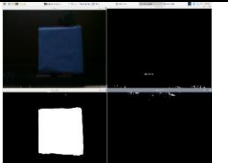
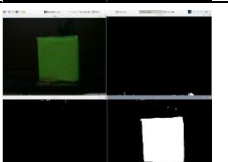
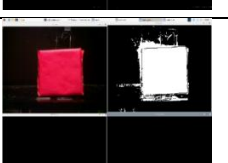
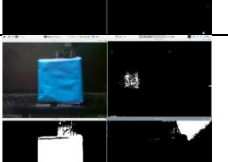
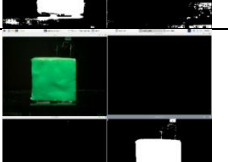
D.4 Pengujian pembacaan warna

Pengujian pembacaan warna bertujuan untuk menguji pencahayaan dalam pembacaan warna sehingga dapat diketahui pada intensitas cahaya seperti apa kamera dapat mengenali warna dengan baik. Pengujian dilakukan dalam 3 intensitas warna yang berbeda yaitu pada keadaan gelap, pada keadaan normal dan pada keadaan terang. Pada keadaan gelap dilakukan pengujian di ruangan dengan pencahayaan lampu yang redup. Pada keadaan normal dilakukan pengujian di ruangan dengan pencahayaan lampu yang terang dan terdapat sinar matahari sedangkan pada keadaan terang

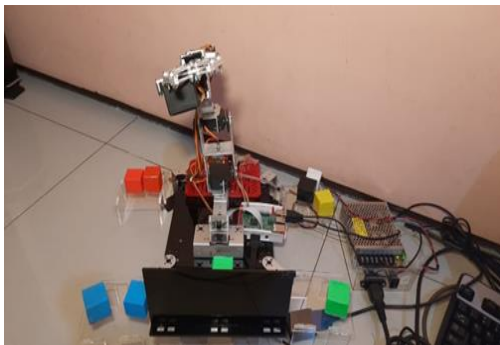
dilakukan di ruangan dengan pencahayaan lampu yang terang, terdapat sinar matahari dan dibantu dengan lampu yang menyinari objek uji. Hasil pengujian pembacaan warna terhadap intensitas cahaya yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 6.

Pengujian pembacaan warna berdasarkan 3 kondisi intensitas cahaya mendapatkan hasil, yaitu: objek yang tidak terdeteksi, objek yang terdeteksi dengan sedikit noise dan objek yang terdeteksi dengan banyak noise. Noise dapat disebabkan karena pantulan cahaya pada meja uji yang terbuat dari akrilik. Pada pengujian dalam keadaan gelap terdapat 2 buah objek yang tidak dapat terdeteksi karena kurangnya intensitas cahaya untuk memantulkan warna.

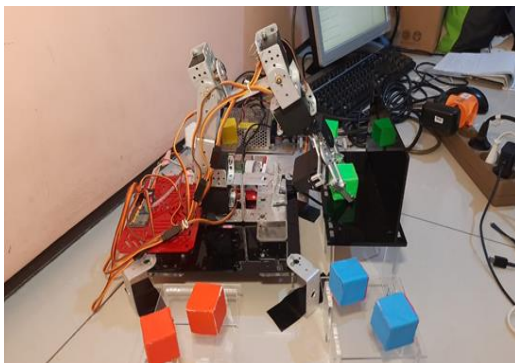
Tabel 6. Hasil pengujian intensitas cahaya.

Inten-sitas Caha-ya	Warna	Hasil Pengujian	Keterangan
Gelap	Merah		Objek dapat terdeteksi dan tidak terdapat banyak <i>noise</i>
	Biru		Objek tidak dapat terdeteksi
	Hijau		Objek tidak dapat terdeteksi
Normal	Merah		Objek dapat terdeteksi dan tidak terdapat banyak <i>noise</i>
	Biru		Objek dapat terdeteksi dan tidak terdapat banyak <i>noise</i>
	Hijau		Objek dapat terdeteksi dan tidak terdapat banyak <i>noise</i>
Terang	Merah		Objek dapat terdeteksi dan terdapat banyak <i>noise</i>
	Biru		Objek dapat terdeteksi dan terdapat banyak <i>noise</i>
	Hijau		Objek dapat terdeteksi dan tidak terdapat banyak <i>noise</i>

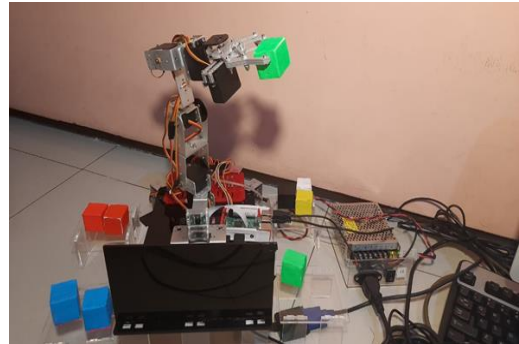
Pengujian pergerakan lengan robot dikelompokkan menjadi 8 kondisi yaitu: parkir, pengambilan objek, pergerakan ke posisi tempat: merah, biru, hijau, *reject*, peletakkan objek pada meja bagian depan dan peletakkan objek pada meja bagian belakang. Pada keadaan pertama robot akan berada pada posisi parkir seperti pada Gambar 12 dan setelah objek terdeteksi maka lengan robot akan bergerak turun untuk mengambil objek yang terdeteksi seperti pada Gambar 13 dan bergerak ke arah meja yang tempat yang ditentukan dan meletakkan objek pada meja seperti pada Gambar 14 dan Gambar 15



Gambar 12. Lengan robot dalam keadaan parkir.



Gambar 13. Lengan robot mengambil objek.



Gambar 14. Lengan robot bergerak ke arah meja hijau.



Gambar 15. Lengan robot meletakkan objek.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian rancang bangun purwarupa lengan robot berbantuan Raspi dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem dapat dapat membaca dan mengenali warna objek yang dideteksi kamera pada saat intensitas cahaya normal dan terang.
2. Lengan robot dapat memindahkan objek ke tempat sesuai dengan kelompok warnanya.

Saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan lengan robot yaitu meningkatkan proses pengolahan citra agar sistem dapat mendeteksi objek dengan lebih cepat dan dapat mendeteksi bentuk benda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Burger, Wilhelm dan Mark. J Burge. 2016. *Digital Image Processing An Algorithmic Introduction Using Java*. London: Springer-Verlag.
- [2] Earl, B. 2012. *Adafruit PCA9685 16-Channel Servo Driver*, (<https://learn.adafruit.com/16-channel-pwm-servo-driver/using-the-adafruit-library>), diakses pada 22 Oktober 20190029
- [3] Hokya. *Modul Panduan Pemograman Python*. Pemalang: Dinas Pemberdaya Masyarakat dan Pemerintah Desa.
- [4] Pitowarno. E. 2006. *Robotika : Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [5] Open CV Team, 2019, *About*. (<https://opencv.org/about/>), diakses 20 Oktober 2019).